

簡易軸力計測システムの開発

株式会社 ケー・エフ・シー 正会員 ○井本 厚
株式会社 ケー・エフ・シー 外川 雄大
神戸大学 正会員 芥川 真一

1. はじめに

山岳トンネルでは、支保部材や地山の変位や応力状態を把握することは重要である。簡易な計測ボルトでロックボルトの荷重分布から周辺地山の応力分布を把握することができれば、危険箇所の早期発見を可能にし、工事の安全性を高める事ができる。そのために、本稿では、ロックボルトの頭部に作用する荷重をモニタリングする安価で取扱い簡便な簡易軸力計測システムの開発を行った。

2. 簡易軸力計測ボルトの概要

センサ部は、R25 ネジを転造した全長 350mm の中空ボルトに同じ長さの Φ12mm の芯棒を挿入し、ロックボルト接続側の端部を溶接加工により一体化した構造である。ボルトに荷重（引張力）が作用すると、芯棒には荷重が作用せず中空ボルトだけに伸びが発生する。このとき、口元側では中空ボルト端面と芯棒の端面に僅かな変位差（以下端面の変位差と称す）が生じる（図-1）。表示装置は、一体化していないセンサ部の芯棒端部に全長 120mm、幅 10mm、厚み 1mm の塩ビ製の羽根をビスで固定したものである。この羽根は、中空ボルト端部に押し出されて変形し、羽根端部では大きな変位に増幅される。さらに、荷重範囲に応じて色分けしたシグナル棒を羽根の横にセットすることで、ロックボルトの頭部に作用する荷重を可視化するシステムである（図-2）。

3. 基本性能確認試験

図-3 にボルトの引張試験概要図を示す。簡易軸力計測システムを耐力 180kN のロックボルトにカプラで連結し、反力壁の貫通孔（φ50mm）に挿入しプレートとナットで緊結する。反力壁の裏面に設置した油圧ジャッキで加圧することで簡易軸力計測システムに地山から荷重が作用する状況を模擬した。荷重と端面の変位差及び荷重と羽根の変位の計測結果を表-2 に示し、荷重と端面の変位差の関係を図-4 に示す。なお、図-4 には理論値も合わせて示す。図-4 より、荷重と端面の変位差は線形関係にあり、ほぼ理論値に等しいこと、再現性があることが確認された。図-5 には、羽根をつけた場合の計測結果として荷重と羽根の変位の関係を示す。

表-1 簡易軸力計測ボルト諸元

	諸元	値
中空ボルト	ねじ	R25
	降伏荷重(kN)	200
	ヤング係数(kN/mm ²)	210
	断面積(mm ²)	282
	内径(mm)	13
芯棒	外径(mm)	12

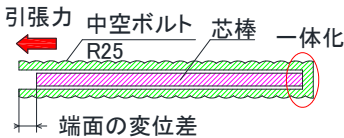


図-1 メカニズム

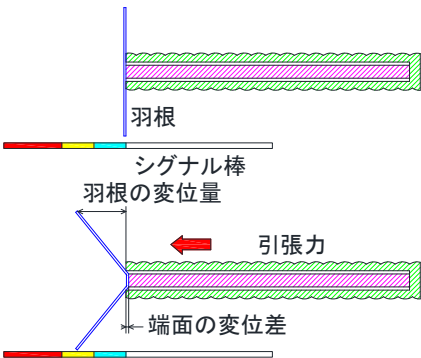


図-2 概要図

表-2 端面変位差とセンサ部計測結果

荷重(kN)	端面の変位差(mm)	表示部(羽)変位(mm)
0	0	0
30	0.17(0.18)	2.5
60	0.36(0.35)	3.6
90	0.54(0.53)	5.3
120	0.74(0.71)	8.2
150	0.93(0.89)	11.0
180	1.16(1.06)	14.1

()は理論値

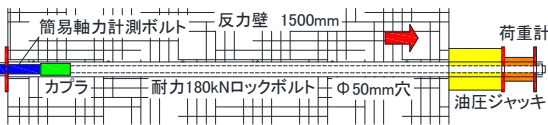


図-3 引張試験概要図

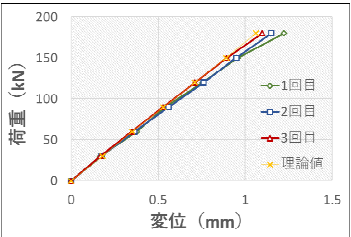


図-4 荷重と端面の変位差

キーワード ロックボルト グランドアンカー 軸力 可視化

連絡先 〒347-0010 埼玉県加須市大桑 1-19-1 ケー・エフ・シー 技術部 0480-76-0095

図-5 から、塩ビ製の羽根を表示部に用いることで、センサ部の変位差を 10 倍以上に増幅し、目視でその変形を確認することができた。さらに、羽根の変位を目視で確認しやすくすること、荷重のレベルを色分けして表示することを目的としたシグナル棒を羽根の横に設置したところ、荷重ごとの羽根の変位レベルがより明確に確認できた。

4. 地山模擬試験

模擬ボアホールとして、口元から 885mm の位置に反力となるフランジを設けた内径 50.5mm、外径 60.5mm、長さ 4m の鋼管を用意した。簡易軸力計測システムを耐力 180kN のロックボルトにカプラで連結させ、模擬ボアホールに挿入してモルタルを充填し定着させた。フランジとロックボルトのプレート間に油圧シリンダと荷重計をセットして、プレートを押す構造とした(図-6)。センサ部はモルタルの付着を切るシース有りとし、同じ試験体で 3 回試験を実施した(図-7)。図-8、図-9 に簡易軸力計測システムの荷重と羽根の変位の計測結果をシース有りの場合とシース無しの場合で、それぞれ示す。

図-8 より、シース有りの場合は、3 回とも同様の線形関係が確認された。図-9 より、シース無しの場合は、最大で 3mm の変位差が発生するなど若干のバラツキが確認された。シース有りの場合は、簡易軸力計測システムの外周に筒状のフィルムを巻き付けることで簡易軸力計測システムが自由に変形するが、シース無しの場合は、センサ部の中空ボルトが定着され、载荷によって徐々にモルタルとの付着がきれるが荷重が小さいときには変位差は生じにくい。モルタルとの付着がきれたとしても繰り返し試験を実施する時にはモルタルとセンサ部に摩擦が残るバラツキが生じたと考えられる。シース有りの場合は基礎試験とほぼ同様の結果が得られているが、シース無しの場合は 30kN 以下で変位が少ない結果となっている。

5. まとめ

簡易軸力計測システムの表示部である羽根の変形特性を利用し、荷重範囲ごとに色分けしたシグナル棒を併用すれば、ロックボルトの頭部に作用している荷重を容易に把握できるシンプルな計測システムの性能を室内試験レベルで確認した(写真-1)。実施工では、モルタルの影響を考慮して簡易軸力計測システムにシースを採用することが妥当と思われる。

今後は、実現場での試験施工を実施して施工性の確認と性能確認を行い、改善を重ねてよりよいシステムの開発につなげていく所存である。

本研究は、一般社団法人 On-Site Visualization 研究会の「計測対象物に生じた変化を瞬時に可視化し、誰でもリアルタイムに現状を知ることができるセンサの開発を行うことで、安全・安心な工事や生活に貢献する」理念の下、トンネル工事の安全性向上を目的として進めているものである。

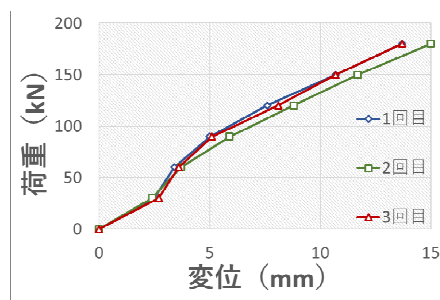


図-5 荷重と表示部の変位

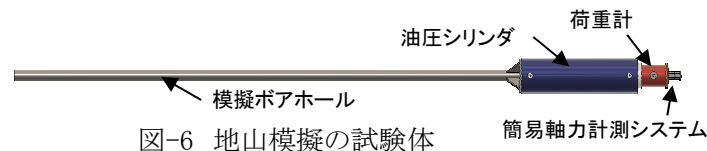


図-6 地山模擬の試験体

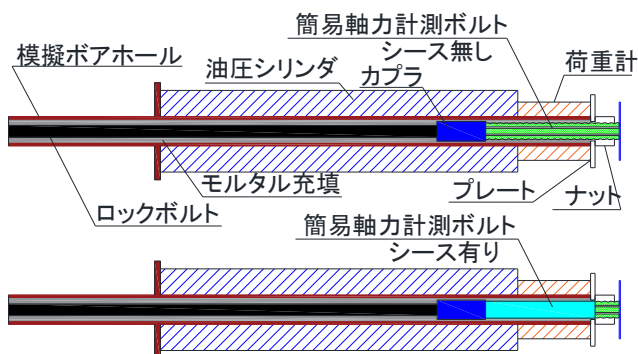


図-7 模擬試験体の断面図

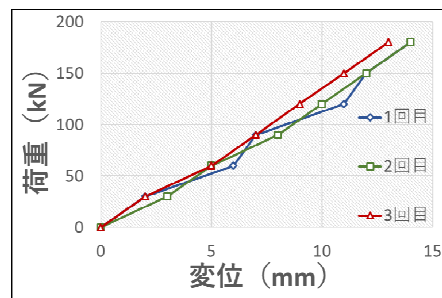


図-8 荷重と羽根の変位(シース有り)

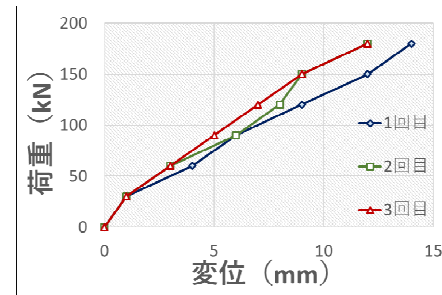


図-9 荷重と羽根の変位(シース無し)



写真-1 荷重の可視化